

# 基于虚拟仪器的淡水鱼质量在线分级系统

李 鹏<sup>1</sup> 彭 毅<sup>2</sup> 熊善柏<sup>3</sup> 李小昱<sup>1</sup> 陶海龙<sup>1</sup> 黄 涛<sup>1</sup>

1. 华中农业大学工学院, 武汉 430070; 2. 武汉市农机鉴定推广站, 武汉 430012;  
3. 国家大宗淡水鱼加工技术研发分中心(武汉), 武汉 430070

**摘要** 针对淡水鱼体质量分级存在精度低、速度慢、可靠性差等问题, 设计一套基于虚拟仪器的淡水鱼体质量在线分级系统, 确定系统中运动控制模块、信息采集模块和分级执行模块的关键参数, 研究淡水鱼体质量信息与分级流水线同步跟踪的方法, 实现对淡水鱼体质量的实时检测和在线分级。当系统运行速度为 150 mm/s 时, 测量结果与实际淡水鱼体质量的相关系数  $R=0.9998$ , 最大相对误差为 1.04%, 分级准确率达到 100%, 每小时可以分 3 600 条淡水鱼。试验结果表明, 该系统能实现对淡水鱼体质量的快速、准确检测, 可为淡水鱼和其他不规则几何形状的农产品质量在线分级提供技术支撑。

**关键词** 淡水鱼; 在线分级; 虚拟仪器

**中图分类号** S 985.1<sup>+</sup>2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2013)06-0149-05

淡水鱼是一种高蛋白、低脂肪、营养丰富的健康食品。中国是淡水鱼养殖大国, 淡水鱼产量已连续多年居世界首位。淡水鱼的体质量分级是淡水鱼深加工的重要环节, 对提高淡水鱼后续加工质量和提升淡水鱼商品价值具有重要作用<sup>[1]</sup>。人工分级是目前淡水鱼分级的主要方法, 该方法劳动强度大、效率低、准确率不高。尽管部分鱼产品加工企业采用机械的方式进行鱼体质量分级<sup>[2]</sup>, 但该方法分级准确率低, 且对鱼体的损伤较严重, 不能满足后续加工的需求。

机器视觉是一种重要的分级检测技术<sup>[3]</sup>。近年来, 国内外学者通常利用机器视觉技术对形状规则的农产品进行质量分级<sup>[4-8]</sup>。在鱼产品品质检测方面, 张志强等<sup>[9]</sup>采用机器视觉技术在静态条件下采集鱼体图像, 将鱼体划分为头、腹、尾三部分, 并按照各部分图像面积建立与鱼体质量的模型, 然而受制于淡水鱼品种、鱼体质量分布不均等因素的影响, 仍难以适应淡水鱼的动态体质量分级, 因此, 如何快速、准确地对鱼体质量进行检测分级仍然是研究的重点与热点。笔者开发了一套基于虚拟仪器的淡水鱼体质量实时在线分级系统, 旨在准确地检测淡水鱼体的体质量信息, 跟踪其在分级流水线上的运动位置, 实时在线对淡水鱼体质量进行分级。

## 1 系统工作原理

淡水鱼体质量在线分级系统是依据淡水鱼的不同体质量来进行分级的。图 1 为淡水鱼体质量在线分级系统的总体结构示意图。

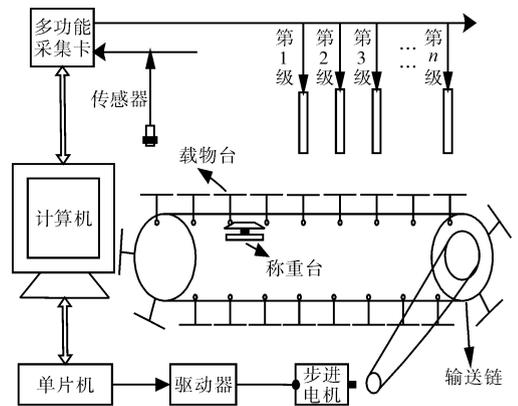


图 1 淡水鱼体质量在线分级系统的总体结构

Fig. 1 The general structure of the freshwater fish body mass real time classification system schematic diagram

该系统主要包含三大部分: 运动控制、信息采集和分级执行。系统工作时, 称重传感器获取体质量信号, 该信号再经过放大电路放大后, 传入多功能数据采集卡 PCI-6024 的模拟通道, 然后经过上位机的

收稿日期: 2013-04-16

基金项目: 湖北省高校产学研合作重大项目(CXY2009A020)

李 鹏, 硕士研究生。研究方向: 智能化检测与控制技术。E-mail: lp0618@webmail.hzau.edu.cn

通讯作者: 李小昱, 硕士, 教授。研究方向: 智能化检测与控制技术。E-mail: lixiaoyu@mail.hzau.edu.cn

分析和处理,待分级样本到达对应分级执行器时,PCI-6024 采集卡数字通道向外发出动作指令,固态继电器得电,电磁阀工作,驱动分级气动执行器动作,实现在线体质量分级。

## 2 系统硬件设计

系统中的运动控制模块利用 TI 公司的低功耗 msp430F1611 单片机来实现;信息采集和分级执行模块利用 NI 公司的 PCI-6024E 多功能数据采集卡来实现。依靠 RS232 串口来实现单片机与上位机 PC 的通讯。图 2 为该系统的硬件结构示意图。

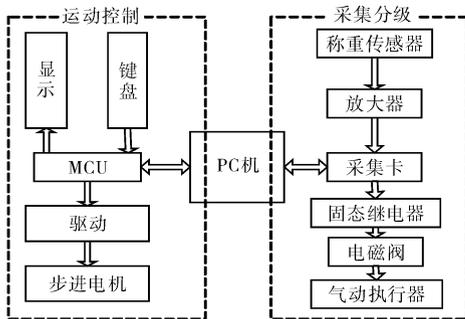


图 2 系统硬件结构

Fig.2 System hardware structure diagram

### 2.1 称重传感器

传感器是检测系统重要的部件之一,目前常用称重传感器主要有电阻、电容、电磁力、光电、液压、振动、陀螺仪等 7 种形式。系统选用精度高、稳定性好、寿命长且适应性强的 PM-23 电阻式称重传感器,灵敏度为 2.00 mV/V。

### 2.2 调理电路

称重传感器的内部阻抗较大,所以需要进行阻抗匹配,并且满量程下输出的电压也非常低,为了防止信号的失真,方便后续采集卡中 ADC 获得真实的可测量的电压信号,选用 TI 公司高性能仪表运算放大器 INA128 对称重传感器的信号进行放大。该芯片内部由 3 个高共模抑制比的放大器构成差分放大电路,其体积小且集成度高,具有高输入阻抗、低偏置电压、低温漂、高共模抑制比等特点,内部还有过压保护( $\pm 40$  V)功能。图 3 为称重传感器的调理电路图。

调理电路的增益计算公式:

$$G=1+(50\text{ k}\Omega)/R_G$$

通过改变增益调节电阻  $R_G$  的阻值大小,可以实现放大倍数从 1~10 000 之间的变化。

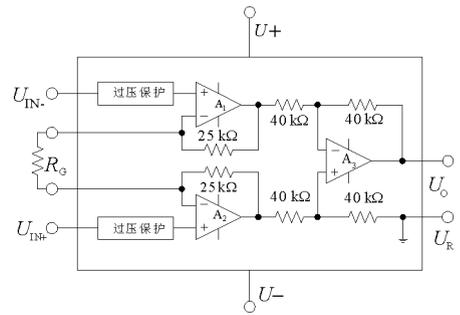


图 3 称重传感器调理电路

Fig.3 Load cell conditioning circuit diagram

### 2.3 PCI-6024 多功能数据采集卡

采集系统选用 NI 公司 PCI-6024E 多功能数据采集卡构建。该采集卡具有 16 个 12 bit 模拟输入通道(8 个差分模拟通道),2 个 12 bit 模拟输出通道,2 个 24 bit 比较/计数器以及 8 个 TTL 可兼容数字通道能够满足多种应用要求,快速构建各种检测系统。

### 2.4 执行器控制

分级系统末端选用 JMC 气动执行器,行程为 160 mm,速度范围在 0~10 m/s 可调。该执行器采用 24 V 电磁阀控制。由于 PCI-6024E 的数字通道输出的电压范围为 0~5 V,因此,选用寿命长、稳定性好的固态继电器(SSR)控制电磁阀的工作。

### 2.5 运动控制电路

分级系统输送链较长,选用 110BYG2501 两相混合步进电动机和 SH20611D 步进电机驱动器。图 4 为运动控制电路。采用超低功耗 MCU(即 msp430F1611)控制驱动器,并通过 RS232 与上位机进行通讯。为了增强人机交互性,添加了 4×4 键盘以及 1602 液晶显示器。

## 3 系统软件设计

分级系统的软件平台基于 LabVIEW 来实现。LabVIEW 是美国国家仪器公司开发的一种虚拟仪器软件开发平台,具有直观的前面板与流程图式的编程特点,故应用方便。图 5 为淡水鱼体质量在线分级系统前面板。系统运行前,用户只需设置好串口,选择串口号、波特率、传输位数、缓存大小、校验等,即可实现对分级线的控制。系统运行过程中,可以调整运动控制中的速度调节滑块杆与正反转滑块杆来改变分级线的运行速度和正反转状态;通过调整阈值设定区域的淡水鱼大小分级阈值来满足不同类型淡水鱼大小分级的要求;体质量实时显示区

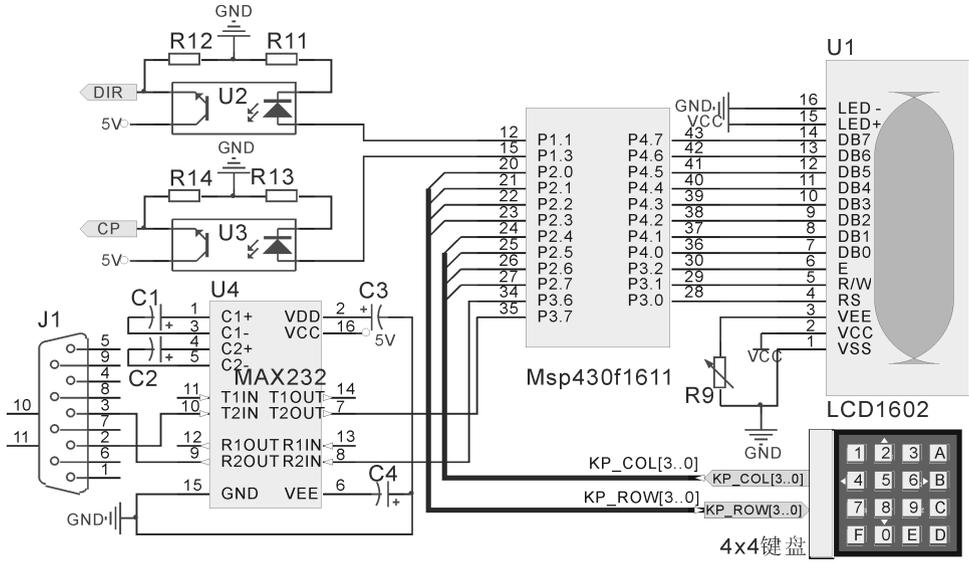


图 4 运动控制电路

Fig. 4 Motion control circuit

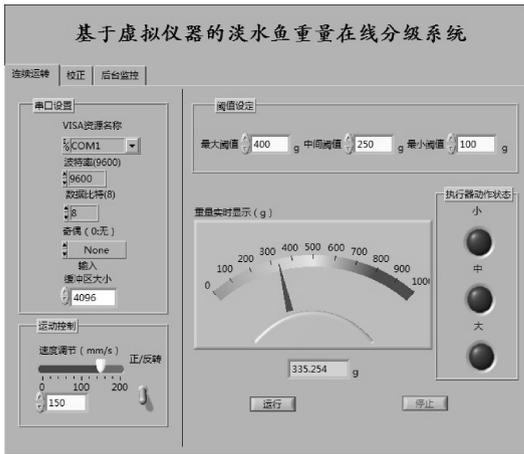


图 5 系统前面板

Fig. 5 Front panel of the system

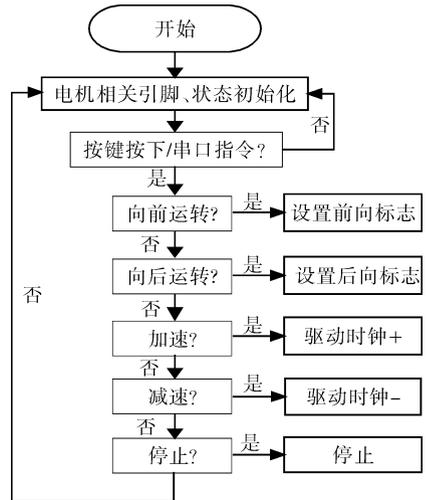


图 6 运动控制程序流程

Fig. 6 Motion control program flow chart

域可以同步显示检测到的淡水鱼体质量,并且监测分级气动执行器的动作状态,清晰地反映体质量在线分级的全过程。

### 3.1 运动控制

运动控制系统可以方便地实现分级检测线的启动、停止、加速、减速等一系列操作。图 6 为运动控制模块的软件流程图。系统分级流水线的运行不仅可以通过 MCU 控制,也可通过上位机 PC 来实现。系统运转时,单片机初始化完成后,打开全局中断,监控键值的输入和串口的指令,控制分级流水线上两相混合步进电动机的运转。

### 3.2 信息采集

称重传感器实时获得待分级样本的体质量信息后,先经过 INA128 仪表放大器放大,然后通过 PCI-6024 多功能数据采集卡的模拟通道进入计算机。

### 3.3 分级处理

图 7 为连续运行状态下的程序框图。分级系统运行过程中,体质量采集系统获取的体质量信号,经过分级系统的分析与计算,判定体质量等级,然后将结果存储,当分级样本到达其对应等级位置时,采集卡输出执行命令,电磁阀工作,带动气动执行器动作,从而实现对样本的在线分级。

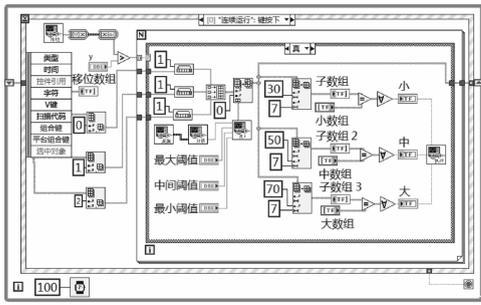


图 7 程序框图  
Fig.7 Block diagram

淡水鱼体质量在线分级系统在运行过程中必须实现对待分级样本的实时跟踪,才能保证分级执行模块的精准动作。为了解决这个问题,系统中添加了记录分级信息寄存器数组。系统预先定义一个  $M \times N$  的寄存器数组 ( $M$  为等级数,  $N$  为分级区域所占用的链节总数), 数组中保存的全为布尔量。称重传感器实时读取样本体质量, 每经过一个链节, 数组中的数据整体循环右移一次, 然后将第一列的数组  $N_1$  替换为系统分析处理后生成的分级子数组  $N_{new}$ 。图 8 为同步算法步骤。

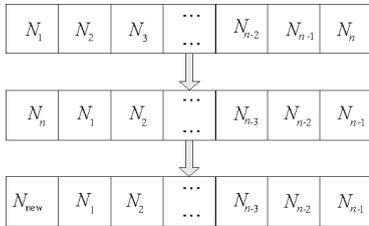


图 8 同步算法步骤  
Fig.8 Synchronization algorithm steps

随着输送链的不断运行,系统内部的分级数组也在不断移动并更新。传感器每产生一个脉冲,输送链移动一个链节,其分级数组也在寄存器数组中右移一次,同时,系统内部读取  $M$  次寄存器数组的子数组。以其中的一个子数组为例,用子数组 A 与执行数组常量 E 进行比较,对比完成后会生成一个和数组 A 或 E 同样大小的新数组。对这个生成的新数组内的所有元素进行与操作,就能得出分级器的动作指令。若该数组内所有数值都是 True,说明 2 个数组完全相同,则会对外输出一个信号为 True,这时数据采集卡的数字通道输出高电平,此时驱动气动执行器的电磁阀工作,完成分级;反之,则气动执行器不动作。图 9 为分级执行模块的程序流程图。

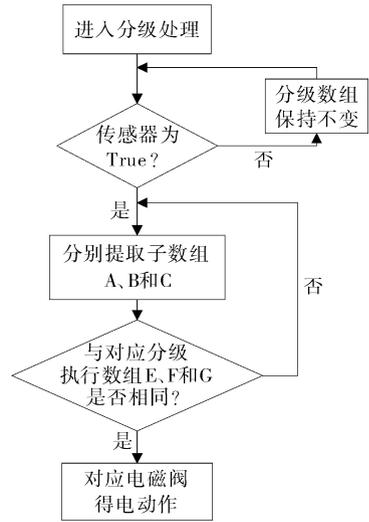


图 9 分级执行模块流程  
Fig.9 Hierarchical implementation flow chart

综合上述分级处理过程表明,如若遇到分级等级增加的情况,只需通过增大寄存数组的列数,即  $M$  的维数,并更新执行数组的列数,即能满足要求。系统通过优化软件结构,增强了软件的扩展性,节约了研发成本,同时也增强了分级系统的适应性。

### 4. 试验与分析

参考国家农牧渔业标准 SC/T3101-1984,定出鱼体质量分级标准:质量  $> 400\text{ g}$  为大,质量  $> 250\text{ g}$  为中,质量  $> 100\text{ g}$  为小。试验选择的鱼体样本为鲫,共 60 条,按照大、中、小 3 类各自选取 20 条。在系统运行速度  $150\text{ mm/s}$  下,依照上述标准设定系统参数,进行 5 次随机试验。

试验结果表明:系统测得的鱼体质量与实际体质量的相关系数  $R = 0.9998$ ,最大相对误差为  $1.04\%$ ,分级准确率达到  $100\%$ ,每小时可以分 3 600 条淡水鱼,且系统运行稳定。

### 5 讨论

本试验采用动态称重的方式检测淡水鱼体质量,经过系统分析计算后获得体质量信息,检测速度较快且精度较高,能够满足快速体质量检测的要求。该系统不仅可以检测形状规则密度均匀的样本,还可以检测外形特殊密度不均匀的样本,尤其是对于后者的检测分级,优于机器视觉技术,可为其他农产品的质量在线分级提供技术支撑。系统中输送链每移动一个链节,光电传感器对外输出一个脉冲以驱动寄存器数组的移位。通过试验确定了光电传感器

的类型与安装位置,将对射式光电传感器安装于链轮附近,检测链轮轮齿的运动,避免直接检测链节时,链条抖动造成的光电传感器误判,增强光电传感器检测的准确率。另外,该系统为能准确地同步淡水鱼体质量信息与其在分级线上的运动位置,还设计了淡水鱼体质量信息同步跟踪算法,为后续分级执行模块提供准确的分级信息,从而完成对分级执行模块的精准控制。

该系统在软件设计中采用了并行结构来优化分级执行模块,若需增加分级系统的分级级别,可以通过改变分级模块中寄存器数组的列数来实现,然后在执行模块中并行地提取淡水鱼的分级级别信息,即可满足分级级别增加的要求。通过改变寄存器数组的方法,不仅降低了研发成本,也增强了软件的扩展性,保证了分级执行器末端的各个分级器独立运行,互无干扰。笔者将平行双链传动方式应用于淡水鱼在线分级系统中,保证了分级系统最快可以在150 mm/s时对淡水鱼按体质量进行分级,且分级准确率高达100%。为了降低分级过程中双链传动结构的抖动对分级效率的影响,在今后的设计中可

优化链条托板或者增大步进电机驱动的细分数,以进一步提高分级系统的分级效率。

## 参 考 文 献

- [1] 段传胜,单杨.淡水鱼鱼糜加工的研究进展与关键性技术探讨[J].农产品加工,2007(7):52-58.
- [2] 王志勇,谌志新,江涛,等.鱼类重量自动分级装置研究[J].上海海洋大学学报,2012,21(6):1065-1067.
- [3] WHITE D J, SVELLINGEN C S N J. Automated measurement of species and length of fish by computer vision [J]. Fisheries Research, 2006, 80: 203-210.
- [4] 赵杰文,盛伟,邹小波,等.水果外观质量在线检测系统的软件实现[J].农业工程学报,2006,22(6):115-118.
- [5] 章海亮,左雪平.苹果自动分级中计算机视觉信息处理技术的研究[J].农机化研究,2006(1):28-30.
- [6] 张俊雄,荀一,李伟,等.基于计算机视觉的柑橘自动化分级[J].江苏大学学报,2007,28(2):100-103.
- [7] 黄永林,应义斌.用于水果实时分级系统的同步跟踪自动控制装置[J].农业工程学报,2002,18(4):163-166.
- [8] 安爱琴,余泽通,王宏强.基于机器视觉的苹果大小自动分级方法[J].农机化研究,2008(4):163-166.
- [9] 张志强,牛智有,赵思明,等.基于机器视觉技术的淡水鱼质量分级[J].农业工程学报,2011,27(2):350-354.

## Real-time grading system based on virtual instrument for freshwater fish body mass

LI Peng<sup>1</sup> PENG Yi<sup>2</sup> XIONG Shan-bai<sup>3</sup> LI Xiao-yu<sup>1</sup> TAO Hai-long<sup>1</sup> HUANG Tao<sup>1</sup>

1. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Wuhan Agricultural Identification Promotion Station, Wuhan 430012, China;

3. The Sub Centre (Wuhan) of National Technology and Research and Development of Staple Freshwater Fish Processing, Wuhan 430070, China

**Abstract** A freshwater fish body mass online grading system based on virtual instrument was designed since the present freshwater fish body mass classification is slow and has low accuracy and poor reliability. The key parameters of the motion control module, information collection module and classification execution module were determined, and a method synchronously tracking freshwater fish body mass information and hierarchical pipeline was researched. The speed of the grading line was 150 mm/s, the correlation coefficient of the measurement results and the real body mass was equal to 0.999 8, the maximum relative error of freshwater fish body mass was 1.04%, the grading accuracy rate of the freshwater fish body mass grading system was 100%, and it handled 3 600 freshwater fish per hour. The test results show that the system can achieve fast, accurate detection of freshwater fish weight, and provide technical support for body mass online grading of the freshwater fish and other agricultural products with irregular shapes.

**Key words** freshwater fish; real-time grading; virtual instrument

(责任编辑:陈红叶)